

TNO Rapport

TNO | Kennis voor zaken





Oude Waalsdorperweg 63
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 70 374 00 00
F +31 70 328 09 61
info-DenV@tno.nl

TNO-rapport

TNO-DV 2008 A243

Het SOWNet Experiment

Datum	juli 2008
Auteur(s)	ing. M.G.A. Ruizenaar ing. R.B. Boekema ir. H.A.J.M. van Hoof ing. G.P. van Voorthuijsen
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	ing. J.A.M. Vernooij, DMO/DWS&B
Vastgesteld d.d.	7 juli 2008
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	15
Oplage	24
Aantal pagina's	42 (incl. bijlages, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	4

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

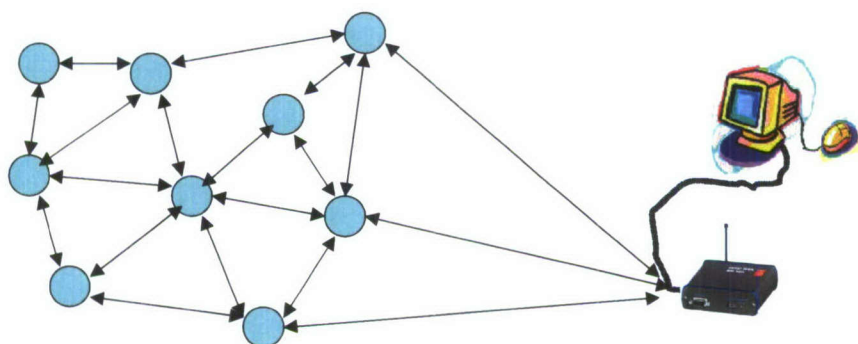
© 2008 TNO

20080904024

AQ F08-12-11062

Het SOWNet Experiment

Onbemande grondsensoren systemen kunnen worden toegepast om de 'situational awareness' in een militair scenario te vergroten. Deze waarnemingstaak kan door het toevoegen van netwerk communicatie technologie in potentie de betrouwbaarheid verhogen en uiteindelijk de benodigde mankracht voor deze taak verminderen. Dit project beoogt de meerwaarde van een op SOWNet gebaseerde sensornetwerk ten opzichte van een conventionele sensorsysteem (niet genetwerkt) aan te tonen door middel van een praktijk experiment.



rechtstreeks afkomstig van de EQS sensoren geregistreerd, maar eveneens werden de responsies, afkomstig via het netwerk algoritme (dat hiervoor speciaal werd ontwikkeld) geregistreerd. Om te zien of alle apparatuur naar behoren zou werken, werd voorafgaand aan het experiment, eerst nog een experiment op kleinere schaal op het TNO testterrein uitgevoerd.

Probleemstelling

Draadloze sensornetwerken kunnen ook in onbemande grondsensoren (OGS) netwerken worden toegepast om de 'situational awareness' te verbeteren. Het 'Self Organising Wireless Network' (SOWNet) speelt in op deze behoefte. SOWNet is een netwerk van elementaire verbindingsnodes die met elkaar kunnen communiceren.

Om de meerwaarde van een grondsensornetwerk-systeem aan te tonen, is in november 2007 een experiment uitgevoerd. Dit experiment dient een antwoord te geven op de vraag of een sensornetwerk een duidelijke meerwaarde

heeft ten opzichte van een conventioneel onbemand grondsensorsysteem.

Beschrijving van de werkzaamheden

Er is een op SOWNet gebaseerd sensornetwerk ontworpen van in totaal 26 nodes. Elke netwerknode was verbonden met een gemodificeerde EQS grondsensoren, bestaand uit een magnetisch-seismische sensorcombinatie. Dit sensornetwerk werd geïnstalleerd in het Park Vijf Eiken (nabij Gilze Rijen) waar gedurende een aantal dagen responsies van het sensornetwerk werden geregistreerd. Hiervoor werd met een personenvoertuig een aantal passages door en nabij het sensorveld uitgevoerd. Hierbij werden niet alleen de responsies,

Resultaten en conclusies

Het experiment heeft aangetoond dat een sensornetwerk, waarbij de sensoren met elkaar communiceren en informatie uitwisselen, betrouwbaarder is dan een conventioneel onbemand grondsensorsysteem waarin alle nodes autonoom functioneren. Deze hogere betrouwbaarheid kwam vooral tot uiting door een geringere hoeveelheid ongewenste meldingen. Bovendien lijkt het totale energieverbruik eveneens geringer, vergeleken met het conventionele systeem in dezelfde omstandigheden.

Toepasbaarheid

Een sensornetwerk heeft de potentie om in een militaire omgeving bij te dragen aan een verbeterde situational awareness.

Het netwerk ontleent deze meerwaarde aan de mogelijkheid dat de verschillende nodes

met elkaar communiceren en de informatie combineren.

PROJECT

Projectbegeleider

ing. J.A.M. Vernooij,
DMO/DWS&B

Projectleider

ing. G.P. van Voorthuijsen,
TNO- Defensie en Veiligheid

Projecttitel

Het SOWNet experiment

Projectnummer

032.35058

Projectplanning

Start: 1 september 2006

Gereed: 31 december 2007

Projectteam

ing. M.G.A. Ruizenaar

ing. R.B. Boekema

P. Koobs

ir. S. Cadot

ing. G.P. van Voorthuijsen

Contact en rapportinformatie

Oude Waalsdorperweg 63
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

T +31 70 374 00 00
F +31 70 328 09 61

info-DenV@tno.nl

TNO-rapportnummer
TNO-DV 2008 A243

Opdrachtnummer
-

Datum
juli 2008

Auteur(s)
ing. M.G.A. Ruizenaar
ing. R.B. Boekema
ir. H.A.J.M. van Hoof
ing. G.P. van Voorthuijsen

Rubricering rapport
Ongerubriceerd

Samenvatting

Het door TNO ontwikkelde 'Self Organising Wireless Network' (SOWNet) is een middel om sensoren toe te passen in een netwerk. In zo'n netwerk kunnen de afzonderlijke nodes met elkaar via radiocommunicatie communiceren. Indien de nodes zijn voorzien van onbemande grondsensoren, geeft dit de mogelijkheid de autonome waarnemingen van een aantal sensoren te combineren waaruit een meer betrouwbare waarneming kan worden afgeleid en/of onjuiste waarnemingen kunnen worden onderdrukt. Bovendien biedt een dergelijk netwerk de mogelijkheid om een waarneming via de nodes door te geven aan de eindgebruiker waarbij weliswaar vele nodes actief zijn, echter door de geringe onderlinge node-afstand kan dit plaats vinden op basis van een relatief geringe hoeveelheid energie.

Na overleg tussen TNO en Defensie, in juni 2006, is besloten een traject te starten waarin de mogelijkheden en meerwaarde van een op SOWNet gebaseerd grondsensornetwerk ten opzichte van de meer conventionele (niet genetwerkte) grondsensoren kunnen worden aangetoond. Om deze meerwaarde aan te tonen, is gekozen een experiment uit te voeren onder zo realistisch mogelijke omstandigheden, gelijkend op een mogelijk toekomstige inzet in een operationele situatie. Dit experiment is uitgevoerd in november 2007. In een gebied van ongeveer 90 bij 60 meter werden een 26 (bestaande) onbemande grondsensoren geïnstalleerd. Alle sensoren werden voorzien van een SOWNet node. Een speciaal ontwikkeld algoritme in de nodes maakte communicatie tussen de nodes onderling mogelijk. Het is de bedoeling dat door deze informatie uitwisseling tussen de nodes onderling, het netto resultaat van het sensornetwerk hoogwaardiger zal zijn dan het resultaat dat bereikt kan worden met de individuele sensoren afzonderlijk.

Met een voertuig werd een aantal passages uitgevoerd waarbij zowel de responsies van de individuele sensoren als die van het netwerk werden geregistreerd. De bedoeling hiervan was een indicatie te krijgen van de detectiebetrouwbaarheid.

Vervolgens werden gedurende langere tijd, waarbij geen activiteiten plaats vonden, beide responsies geregistreerd. De bedoeling hiervan was een indicatie te krijgen van het aantal ongewenste meldingen.

Tenslotte is bekeken wat ongeveer het verschil zou zijn geweest tussen een conventioneel functionerend onbemand grondsensorsysteem en een vergelijkbaar systeem dat in een netwerk opereert. Bij deze schatting is wel een aantal veronderstellingen gedaan waardoor het gebruikte model slechts een orde van grootte aan geeft.

In dit document zijn de hiermee samenhangende werkzaamheden en resultaten van het experiment beschreven.

Inhoudsopgave

	Managementuittreksel	2
	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Experiment	7
2.1	Operationele Eisen	7
2.2	Meetopstelling	8
2.3	Opzet en uitvoering van het experiment in Vijf Eiken	10
2.4	Samenvatting van de resultaten	13
3	Conclusie	15
3.1	Bevindingen	15
3.2	Vervolg	15
4	Referenties	16
5	Ondertekening	17
	Bijlage(n)	
	A Beschrijving meetsite 'Park Vijf Eiken' voor SOWNet tests	
	B Beschrijving communicatie tussen de SOWNet-nodes en de registratie-unit en toegepast algoritme	
	C Uitwerking OGS experiment 16-26 november 2007	
	D Vergelijking van energieverbruik	

1 Inleiding

Draadloze sensornetwerken vinden steeds meer toepassingen in civiele, maar ook militaire omgevingen. Vooral de Verenigde Staten zijn druk bezig met onderzoek en ontwikkeling van dergelijke netwerken. De verwachting is dat tegen het eind van dit decennium, de markt voor draadloze netwerken een 'miljarden-markt' zal zijn.

Draadloze sensornetwerken kunnen ook in onbemande grondsensoren (OGS) netwerken worden toegepast om de 'situational awareness' in een militair scenario te vergroten. Deze waarnemingstaak kan door het toepassen van netwerktechnologie in potentie de betrouwbaarheid verhogen en uiteindelijk de benodigde mankracht voor deze taak verminderen.

Het door TNO ontwikkelde 'Self Organising Wireless Network' (SOWNet) speelt in op deze behoefte. SOWNet is een netwerk van elementaire verbidingsnodes die met elkaar met behulp van radiocommunicatie kunnen communiceren. De nodes zijn voorzien van een mogelijkheid om diverse soorten sensoren aan te sluiten. Tijdens de ontwikkeling van SOWNet werd voor de diverse labexperimenten iedere node van een eenvoudige passief infrarood (PIR) sensor voorzien.

In de periode 2004-2005 heeft TNO het SOWNet netwerk verder ontwikkeld tot een demonstrator met Technology Readiness Level 5/6 (TRL 5/6), zie referentie [1]. In dit traject is het draadloze netwerk, met de eenvoudige PIR sensoren toegevoegd, in een relevante praktijksituatie gedemonstreerd. Het voornaamste doel van deze demonstratie was het aantonen dat sensornodes kunnen worden gemaakt die berichten van andere sensornodes kunnen doorgeven ('hopping'). Op deze wijze kunnen sensorberichten via andere nodes naar de centrale monitor worden verzonden. Het voordeel hiervan is dat de sensornodes energiezuiniger en daardoor kleiner kunnen worden gemaakt dan de conventionele onbemande grondsensoren. Het communicatienetwerk is zelf-configurerend waardoor geen extra installatiehandelingen nodig zijn. De plaatsbepaling van iedere sensornode werd bij dit experiment nog handmatig uitgevoerd; dit zou automatisch kunnen plaatsvinden door bijvoorbeeld het toevoegen van een GPS-module aan iedere sensornode.

Na overleg tussen TNO en Defensie, in juni 2006, is besloten een traject te starten waarin de mogelijkheden en meerwaarde van een op SOWNet gebaseerd sensornetwerk ten opzichte van de meer conventionele (niet genetwerkte) grondsensoren kunnen worden aangetoond. Om deze meerwaarde aan te tonen, is gekozen een experiment uit te voeren onder zo realistisch mogelijke omstandigheden, gelijkend op een mogelijk toekomstig inzet in een operationele situatie. De meerwaarde zal worden geconstateerd aan de hand van het meten van de detectiekans, de kans op valse alarmeringen en indien mogelijk het energieverbruik.

In dit document worden de operationele eisen samengevat waarop het experimentele sensornetwerk is ontworpen en waarop het experiment is uitgevoerd. Daarna volgt een omschrijving van het gerealiseerde sensornetwerk en het uitgevoerde testplan. Tot slot worden de conclusies aan de hand van de meetresultaten samengevat en worden de reeds ondernomen en gewenste vervolgvactiteiten genoemd.

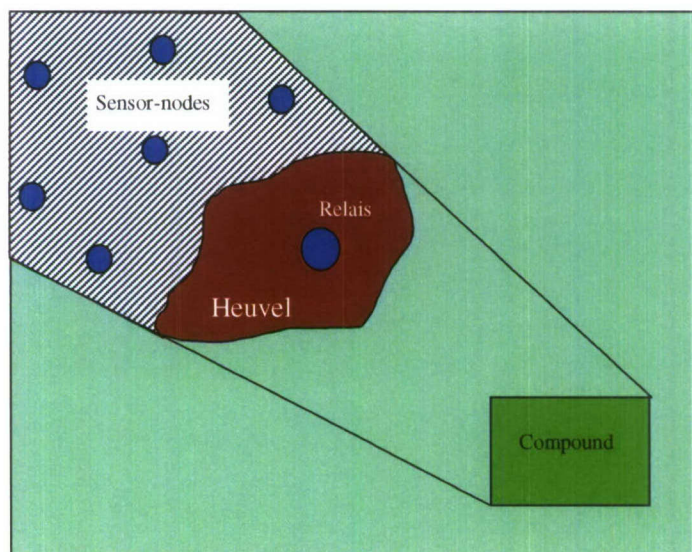
2 Experiment

2.1 Operationele Eisen

In referentie [1] is een overzicht gegeven van de belangrijkste operationele eisen die door de KL (OTCMan) worden gesteld aan een grondsensornetwerk, gebaseerd op SOWNet devices. Deze eisen hebben o.a. betrekking op de snelle ontplooibaarheid van zo'n systeem, gebruikersvriendelijkheid, afmetingen en gewicht, robuustheid, etc. Tevens werden eisen gesteld m.b.t. een laag energieverbruik, een lage kans op onnodige alarmeringen en een hoge detectiekans. Het doel van het hier besproken experiment was met name om een indicatie te krijgen van deze laatste drie functies.

Ten behoeve van het experiment is in overleg met de KL (OTCMan) een zo realistisch mogelijk scenario bedacht waarmee inzicht kon worden verkregen in de werking van het SOWNet sensornetwerk. De gekozen scenario betreft het bewaken van een compound perimeter.

Figuur 1 schetst een mogelijke bewakingssituatie. Het terrein rondom de compound wordt bewaakt vanuit de compound door middel van radar en camera's. De radar is primair bedoeld voor detectie van bewegende objecten (voertuigen/vliegtuigen) op grotere afstand. De camera's zijn primair bedoeld om de detecties gedaan door de radar te verifiëren. Deze sensoren hebben een line-of-sight nodig. Het terrein is heuvelachtig en de aanwezigheid van een heuvel in de directe nabijheid bemoeilijkt de waarneming door radar en camera's. Achter de heuvel is het onwenselijk dat personen of voertuigen zich daar begeven.



Figuur 1 het gekozen bewakingsscenario.

In het terrein achter de heuvel wordt een onbemand draadloos grondsensornetwerk uitgelegd. De sensoren zijn in staat voertuigen en personen te detecteren en hebben geen line-of-sight nodig. Het netwerk wordt in dit verband gebruikt als een zogenaamde

‘gap-filler’, dat wil zeggen: het netwerk vult een gat in de waarneming van de radar en camera’s op.

De sensor-nodes doen bijvoorbeeld seismische en/of infrarood waarnemingen en communiceren onderling met elkaar. Individuele waarnemingen worden gecombineerd waardoor de kwaliteit (dat wil zeggen betrouwbaarheid) toeneemt. De waarnemingen worden via een relais-station op de top van de heuvel doorgestuurd naar de commandopost in de compound. Desgewenst, zou een op afstand te besturen camera op de heuvel kunnen worden geplaatst om een alarm van het sensornetwerk te verifiëren.

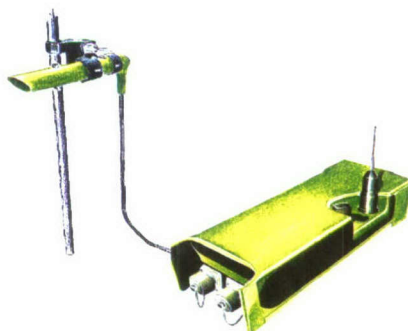
Het sensornetwerk is op deze wijze in staat naderende personen en voertuigen waar te nemen die niet rechtstreeks door de radar en/of camera’s op de compound kunnen worden waargenomen. Het netwerk wordt uitsluitend gebruikt ten behoeve van het waarnemingsproces. Het netwerk speelt geen rol in het beslissingsproces.

Na het detecteren van een mogelijke indringer, wordt in het algemeen een patrouille gestuurd om de melding te verifiëren en de indringer te arresteren. Dit betekent dat zo veel mogelijk moet worden voorkomen dat het systeem valse meldingen genereert.

Er wordt vanuit gegaan dat het relaisstation op de heuvel vanuit de compound betrekkelijk veilig te bereiken is (bijvoorbeeld voor onderhoud of om batterijen te vervangen) omdat de ‘compoundzijde’ van de heuvel vanuit de compound wordt bewaakt en ‘schaduwzijde’ van de heuvel door het sensornetwerk wordt bewaakt.

2.2 Meetopstelling

Op voorhand is geschat dat, gezien het gekozen scenario, het sensornetwerk uit minimaal 25-30 sensornodes diende te bestaan. Om geen tijd te spenderen aan het ontwikkelen van een grondsensoren voor dit experiment (dat wil zeggen een detector met bijbehorend classificatie-algoritme; de ontwikkeling ervan zou overigens buiten het kader van dit onderzoek vallen), is gekozen een COTS grondsensoren te gebruiken en deze één op één te koppelen aan een SOWNet-node. Voor de COTS grondsensoren kon gebruik worden gemaakt van OGS’en van Defensie (fabrikant van deze sensoren was het bedrijf EQS). Deze EQS grondsensoren zijn voorzien van een seismische sensor (geofoon) en een magnetische sensor. Daarnaast kan op de grondsensoren een additionele passief infrarood sensor (IR sensor) worden aangesloten. In figuur 2 is dit type grondsensoren figuratief afgebeeld (met infrarood detector die voor dit experiment niet is gebruikt).



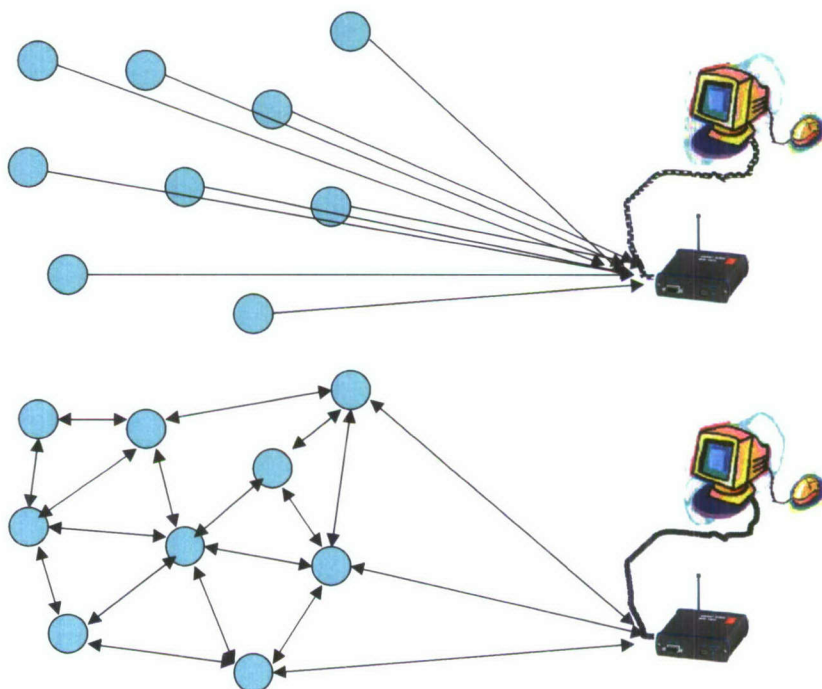
Figuur 2 EQS grondsensoren (magnetisch, seismisch en infrarood).

De eigenschappen van de EQS-sensoren zijn als volgt:

- Detectie en classificatie van personen, wielvoertuigen en rupsvoertuigen.
- Detectiebereik van personen: circa 10 m.
- Detectiebereik van voertuigen: circa 30 m.
- Detectie van bewegingsrichting (links→rechts of rechts→links).
- Passief infrarood bundelbreedte: circa 11 graden.

Ten behoeve van dit experiment zijn de EQS-sensoren gemodificeerd waarbij een deel van de programmatuur in de sensoren is ontleend en aangepast om communicatie met de aangesloten SOWNet-node mogelijk te maken. Tevens is de hardware van de EQS-sensor aangepast om de SOWNet-node te kunnen aansluiten op één van de connectoren van de EQS-sensor.

De EQS-sensoren hebben elk hun eigen radio communicatieverbinding met een speciaal daarbij behorend relais- of monitor-station, afhankelijk van de afstand en het terrein tussen het waarnemingsgebied en de commandopost. Elke SOWNet-node is eveneens uitgerust met een radio-communicatielink. Deze link maakt het mogelijk dat de SOWNet-nodes met elkaar kunnen communiceren. Door een 'slimme' samenwerking van de SOWNet-nodes, waarbij wederzijds informatie wordt uitgewisseld, is de verwachting dat ondermeer de kwaliteit van de waarneming zal toenemen en het energieverbruik zal afnemen ten opzichte van de conventionele manier waarop de EQS-sensoren communiceren. De combinatie van EQS-grondsensoren en SOWNet-nodes maakt het mogelijk de prestaties van een samenwerkend netwerk van grondsensoren te vergelijken met de prestaties van een niet-samenwerkend netwerk. Beide netwerkconfiguraties zijn weergegeven in figuur 3



Figuur 3 Te vergelijken netwerkconfiguraties: niet-samenwerkende EQS-grondsensoren (boven) en een samenwerkend netwerk van SOWNet-nodes (onder).

De eigenschappen van niet-samenwerkende grondsensoren zijn als volgt:

- Eenrichtingsverkeer tussen sensoren en monitor.
- Detecteren en globaal lokaliseren van indringers. Als een indringer gedetecteerd wordt, wordt een melding doorgegeven naar een monitor. De positie van de sensoren is bekend zodat globaal ook de positie van de indringer bekend is.
- Classificatie van indringers (onderscheid personen/voertuigen).
- Periodiek verbindings- en werkingscontrole.

Het samenwerkende netwerk van EQS-grondsensoren met SOWNet-nodes heeft in principe, dankzij een tweerichtingscommunicatie tussen de sensoren en tussen de sensoren en monitor, ten opzichte van de bovengenoemde mogelijkheden de volgende extra mogelijkheden en functies.

- Volgen van indringers en voorspellen van de route.
- Node optimalisatie door informatie van omliggende nodes.
- Betere classificatie.
- Minder false alarms.
- Robuustere communicatie (meerdere communicatiepaden beschikbaar).
- Geringer energie verbruik en dus langer inzetbaar.
- Individuele nodes kunnen (tijdelijk) in- of uit geschakeld worden om stroom te sparen of om onnodige alarmeringen te voorkomen.

Zodra een indringer in het bereik komt van één van de sensoren, wordt een alarm aan de aangekoppelde SOWNet-node doorgegeven. Deze alarmering zal via radio-communicatie worden vergeleken met de eventuele alarmeringen bij de nabijgelegen SOWNet-nodes. De aanwezigheid van meerdere alarmeringen binnen een bepaalde tijd kan duiden op een echt alarm. Eén enkel alarm kan duiden op een false alarm.

Het combineren van de opeenvolgende meldingen van sensoren geeft informatie over de snelheid van de indringer en de gevolgde route (indien de positie van iedere sensor bekend is).

Zodra een detectie wordt gedaan, wordt alle beschikbare data die heeft geleid tot de detectie gecommuniceerd met de centrale commandopost. Dit beperkt de eisen die worden gesteld aan de geheugencapaciteit van het netwerk.

2.3 Opzet en uitvoering van het experiment in Vijf Eiken

Het experiment is uitgevoerd in de periode november 2007 op het terrein 'Vijf Eiken' in Gilze-Rijen (grootte terrein ca. 90 x 60 meter). Een beschrijving van dit terrein en de locale omstandigheden is gegeven in de bijlage A.

De belangrijkste doelstellingen van het experiment waren:

- het registreren van de netwerkresponsies op een aantal uitgevoerde voertuigpassages in het meetgebied, teneinde een indicatie te krijgen van de detectiekans van het systeem;
- het registreren van de netwerkresponsies over een relatief lange periode waarbij geen passages plaats vonden, zodat een goede indicatie kan worden verkregen van het aantal ongewenste alarmeringen;
- een indicatie te krijgen van het energieverbruik (op basis van het aantal uitgezonden boodschappen) van het systeem;
- het analyseren van de resultaten en op grond hiervan het mogelijk vaststellen van de meerwaarde van het gebruik van sensoren in een netwerk.

Aangezien het bedoeling was om de SOWNet resultaten te kunnen vergelijken met de individuele responsies van de grondsensoren, zijn naast de netwerkresponsies ook de sensorresponsies separaat geregistreerd.

Om de betrouwbaarheid van het meet- en registratiesysteem te testen, is voorafgaand aan het experiment in Vijf Eiken, in de week 2-9 november 2007 op kleinere schaal (9 nodes) eenzelfde experiment uitgevoerd op het TNO testterrein. Hierbij werden 12 passages uitgevoerd met een voertuig (met verschillende snelheden).

De bedoeling van dit experiment was:

- testen of de registratie apparatuur goed functioneert;
- bepalen wat ongeveer het detectiebereik is voor een voertuig;
- het gedrag van het netwerk bepalen om dit te kunnen optimaliseren voor de tests in Vijf Eiken;
- nagaan of alle apparatuur betrouwbaar werkt in de buitenomgeving.

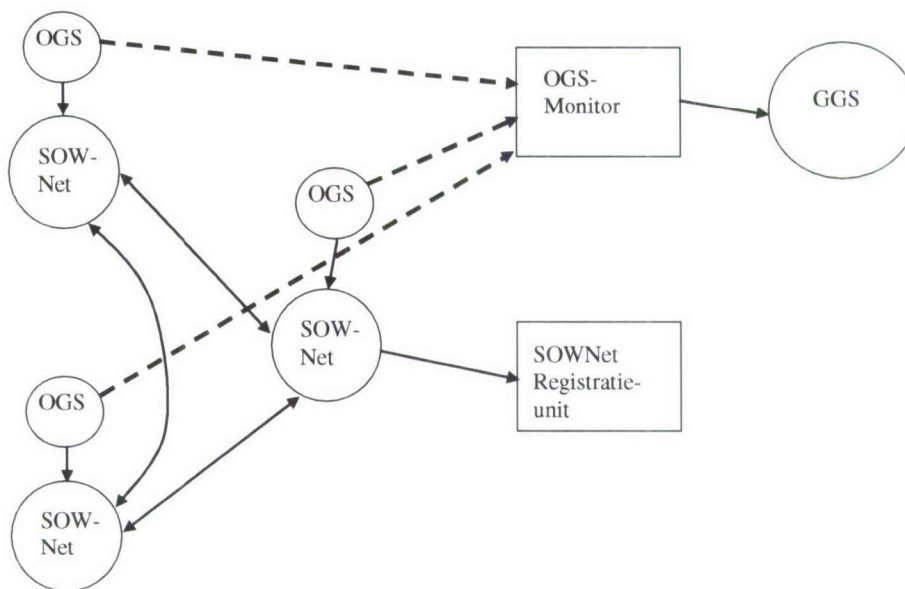
Een gedetailleerde beschrijving van deze metingen op het TNO testterrein en de resultaten ervan zijn gegeven in referentie [2].

In totaal waren op het testterrein 26 SOWNet-node / OGS-sensor combinaties geplaatst in een rechthoekig grid; de onderlinge afstand van de roosterpunten bedroeg ongeveer 13 meter.

De OGS-en waren alleen in grasvelden en stroken gras ingegraven, op enige afstand van bomen. Door het terrein liepen twee geasfalteerde wegen.

Een schematisch overzicht van de werkwijze van de SOWNet nodes, de onbemande grondsensoren en de wijze van communiceren is schematisch weergegeven in figuur 4. De nodes zijn in staat onderling informatie uit te wisselen met hun directe burens en zullen op grond van deze informatie-uitwisseling wel of niet een detectie vaststellen en deze boodschap versturen naar een centrale registratie-eenheid. De nodes ontvangen sensormeldingen van de onbemande grondsensoren. De onbemande grondsensoren hebben eigen communicatiemogelijkheden met de centrale registratie-eenheid.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat aan de detectie- en classificatie software van de EQS-sensoren, niets kon worden veranderd. Alle OGS responsies werden tijdens het experiment geregistreerd; de SOWNet-nodes konden, op basis van de OGS responsies, eerst nog even 'overleggen' met de andere nodes vooraleer een definitieve responsie naar de registratie unit te versturen. De resultaten van het experiment dienen dus louter vergelijkenderwijs beoordeeld te worden omdat de detectie- en classificatie software hierin geen rol speelt.



Figuur 4 Schematische weergave van de communicatie tussen de node, OGS en monitor- en SOWNet registratie unit.

Een gedetailleerde beschrijving van het toegepaste ‘overleg-algoritme’ in de SOWNetnodes en de beschrijving van de communicatie tussen nodes en de monitor/registratie unit is gegeven in de bijlage B.

Het experiment met de SOWNetnode, gekoppeld aan de ingegraven EQS-sensoren heeft 19 dagen geduurd. De meetperiode liep van 8 tot en met 26 november 2007. Na het uitwerken van de eerste resultaten van een proef waarbij een voertuig verschillende routes door het terrein heeft gereden, bleek dat het netwerk niet optimaal functioneerde. Daarom zijn op 16 november alle SOWNet-nodes voorzien van een nieuw programma en zijn een tweetal OGS sensoren vervangen.

Aan het begin van de periode is op 16 november een test gedaan door met een auto acht routes over het testterrein te rijden.

Van 16 november 18:00 uur tot 26 november 10:00 uur heeft het systeem gefunctioneerd zonder dat er activiteiten op of in de buurt van het testterrein waren.

Op 26 november zijn nog enige tests gedaan waarbij met een bestelbus een aantal malen verschillende routes door het terrein is gereden.

De uitgevoerde scenario’s en de resultaten van de drie onderdelen gedurende deze periode zijn uitvoerig beschreven in de bijlage C; tevens zijn hierin de geregistreerde meteorologische condities vermeld.

2.4 Samenvatting van de resultaten

Detectie

Tijdens het experiment is op 16 november het algoritme in de SOWNet-nodes aangepast. Aanleiding was het groot aantal berichten dat door de SOWNet-nodes werd gegenereerd ten gevolge van alarmeringen door de EQS-sensoren. Tevens zijn twee EQS-sensoren vervangen. Na het aanbrengen van deze wijzigingen is opnieuw een aantal voertuigpassages door het sensornetwerk gebied uitgevoerd.

Alle passages zijn door het grondsensornetwerk waargenomen. In totaal genereerden de EQS-sensoren hiervoor 74 boodschappen, terwijl het SOWNet-netwerk 52 maal een boodschap doorgaf aan de registratie unit.

Na het uitvoeren van een passage door het gebied is soms te snel aan de volgende passage begonnen waardoor het netwerk niet 'tot rust' is gekomen. In dit geval worden 'oude' alarmeringen van de EQS-sensoren bij de alarmeringen van de nieuwe passage opgeteld; dit resulteerde in een verhoogd aantal SOWNet meldingen.

Het hogere aantal SOWNet meldingen tijdens de passages kan ook deels worden verklaard uit het feit dat de tijd tussen het passeren van een EQS-sensor en het afgeven van een alarm door de EQS-sensor sterk varieerde (van 1 seconde tot enkele seconden). Deze tijdsvariatie werd vermoedelijk veroorzaakt door omgevingsomstandigheden (bijvoorbeeld achtergrond lawaai en bodemgesteldheid) en de werking van het algoritme in de EQS-sensor zelf.

Ongewenste meldingen

Van 16 november 18:00 uur tot 26 november 10:00 uur heeft het systeem gewerkt zonder dat er zichtbare activiteiten op het terrein waren. De bedoeling van de registraties in deze periode was om na te gaan of het netwerk ook in staat was het aantal ongewenste meldingen te verminderen, vergeleken bij de autonoom werkende sensoren.

In deze 231 uur durende periode bleken door de OGS-en in totaal 6956 meldingen te zijn gegenereerd, terwijl het netwerk 3026 meldingen heeft doorgegeven. Dit betekent dat het 'netwerk-effect' in deze periode (en onder de gegeven omstandigheden) voor een reductie van ongeveer een factor twee heeft zorg gedragen.

Bij nadere analyse is echter gebleken dat vrijwel alle ongewenste alarmeringen hebben plaats gehad op tijdstippen dat er een trein passeerde (traject Tilburg-Breda en vice versa) op een afstand van ongeveer 215 meter van het terrein. Kennelijk is de classificatie software van de OGS-en niet in staat gebleken de door de treinpassages opgewekte signalen te negeren. Deze analyse wordt ondersteund door de (oude) NS-dienstregeling te vergelijken met de sensorwaarnemingen; bovendien bleek dat er 's nachts (tussen 02.00 en ca. 06.00 uur wanneer er geen treinverkeer was) geen of slechts sporadisch een melding is geregistreerd (volgens de oude NS-dienstregeling passeerden per etmaal ongeveer 250 keer een trein; voor 10 dagen betekent dit circa 2500 passages).

Indien wordt gekeken naar de periodes waarin vermoedelijk geen treinpassages hebben plaatsgevonden, kan worden geconcludeerd dat het aantal ongewenste alarmeringen geproduceerd door het SOWNet-netwerk ca. 9x kleiner is dan het aantal afgegeven door de EQS-sensoren. Het vermoeden bestaat dat een deel van deze ongewenste

alarmeringen afkomstig zijn van zwaar verkeer op de autoweg ten zuiden van het testterrein.

Energieverbruik

Om een indruk te krijgen van de door het netwerk verbruikte energie in vergelijking met de verbruikte energie die door eenzelfde aantal sensoren die op de conventionele wijze zouden zijn toegepast (dus niet in een netwerk), is een simpele methode gebruikt die in bijlage D is beschreven. Met deze methode is geschat dat het energieverbruik van de EQS zenders naar aanleiding van een gemiddelde voertuigpassage circa 5 keer zo hoog is dan die van de SOWNet-zenders. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat beide typen zender het minimaal benodigde zendvermogen gebruikt om het eindpunt te bereiken (in werkelijkheid zendt de EQS-zender met veel meer vermogen).

3 Conclusie

3.1 Bevindingen

Tijdens de experimenten in november 2007 zijn alle uitgevoerde voertuigpassages zowel door de EQS-sensoren en als door SOWNet-netwerk waargenomen. Het netwerk had hiervoor minder meldingen nodig dan de EQS-sensoren, zij het niet significant veel minder (52 versus 74). Dit betekent dat het 'overleg algoritme' vermoedelijk nog sterk kan worden verbeterd.

Het aantal ongewenste meldingen, geproduceerd door het netwerk, was ongeveer een factor 2 minder dan het aantal, geproduceerd door de EQS-sensoren. Indien wordt gekeken naar de 'stille' periodes tussen de treinpassages, is een factor 9 minder ongewenste alarmeringen waargenomen. Ook het aantal ongewenste alarmeringen zou door het verbeteren van het 'overleg algoritme' verder kunnen worden gereduceerd.

Het netwerk zou naar schatting (in de opstelling zoals in Vijf Eiken) een factor 5 minder energie verbruikt hebben dan de EQS-sensoren, indien deze op de conventionele manier zouden zijn toegepast.

3.2 Vervolg

Het is waarschijnlijk zo dat het algoritme die de onderlinge informatie-uitwisseling tussen de nodes bestuurt, verbeterd dient te worden.

Een tweede verbetering kan worden gerealiseerd door daadwerkelijk aan de nodes een 'power management' algoritme toe te voegen. Dit algoritme zou er voor moeten zorgen zal de door de nodes uitgezonden vermogens net voldoende moeten zijn om de gewenste communicatie tot stand te brengen, met als gevolg een duidelijk lager energieverbruik en dus een langere levensduur van de gebruikte batterijen.

Het netwerk biedt in principe ook de mogelijkheid om de locatie van een bewegend doel te volgen; ook deze mogelijkheid kan op de nodes worden gerealiseerd. In principe is het dan mogelijk om bijvoorbeeld voertuigbewegingen (ver) buiten het OGS plaatsingsgebied te negeren (zoals de passerende treinen langs het terrein van de Vijf Eiken). Ook zouden voertuigen, die in een bepaalde richting het gebied doorkruisen, kunnen worden genegeerd.

Uit het experiment op het terrein Vijf Eiken zijn waardevolle praktische ervaringen met een grondsensornetwerk opgedaan. Deze ervaringen zullen van pas komen in de diverse verwante activiteiten en vervolgprojecten. Eén van de vervolgprojecten betreft de realisatie van een demonstrator sensornetwerk (op basis van SOWNet) voor padbewaking in het kader van IED bestrijding. In dit project wordt een magnetische sensor gecombineerd met een SOWNet-node in één behuizing (ca. 12x7x3 cm; zonder zichtbare antenne). Deze demonstrator wordt deze zomer verwacht.

4 Referenties

- [1] Rapport TNO DV1 2005 A089 '*SOWNet TRL 5/6*', d.d. 23-12-2005.
- [2] Rob Boekema: '*Meetverslag OGS TNode-2 TNO testterrein*', d.d 2-11-2007.
- [3] Marcel Ruizenaar: '*Beschrijving algoritme*', 9 juli 2007.

5 Ondertekening

Den Haag, juni 2008

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop followed by a horizontal line.

ir. A. de Raad
Afdelingshoofd

TNO Defensie en Veiligheid

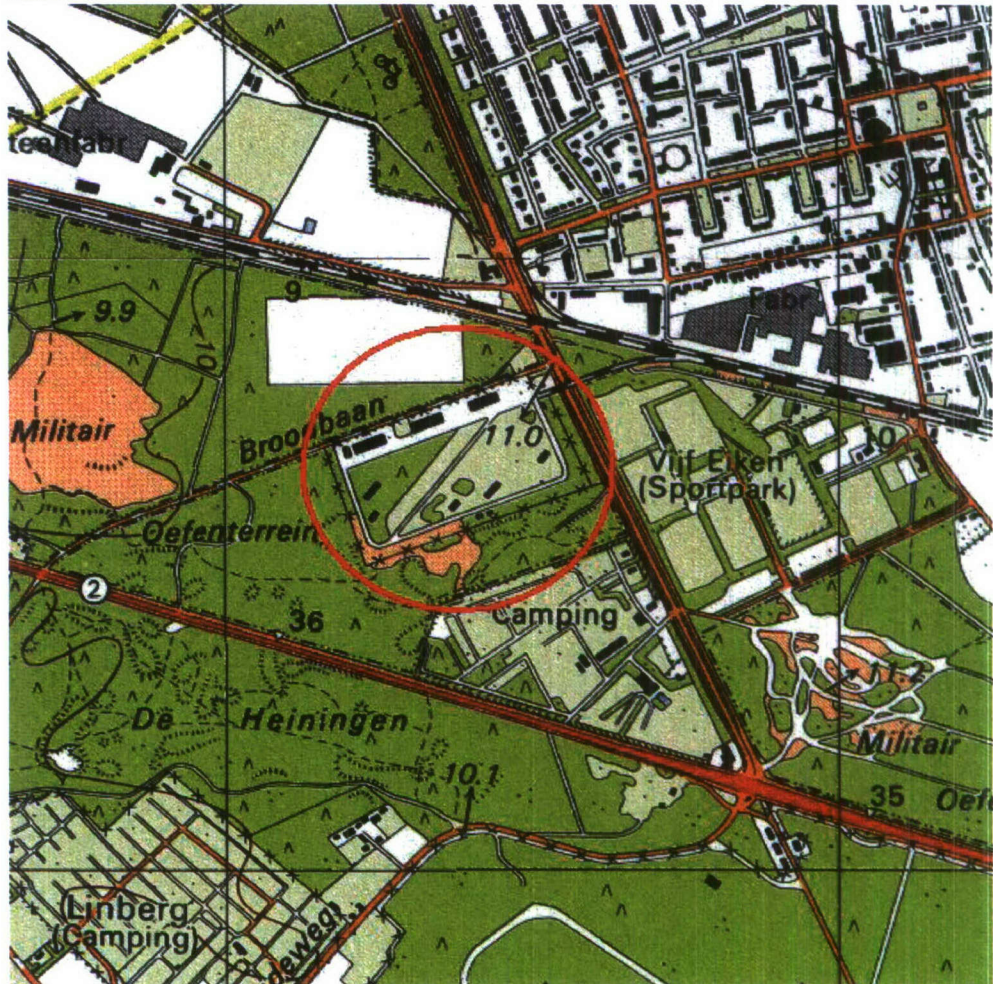
A handwritten signature in blue ink, featuring a stylized 'G' and 'P' followed by 'van Voorthuijsen'.

ing. G.P. van Voorthuijsen
Auteur

A Beschrijving meetsite 'Park Vijf Eiken' voor SOWNet tests

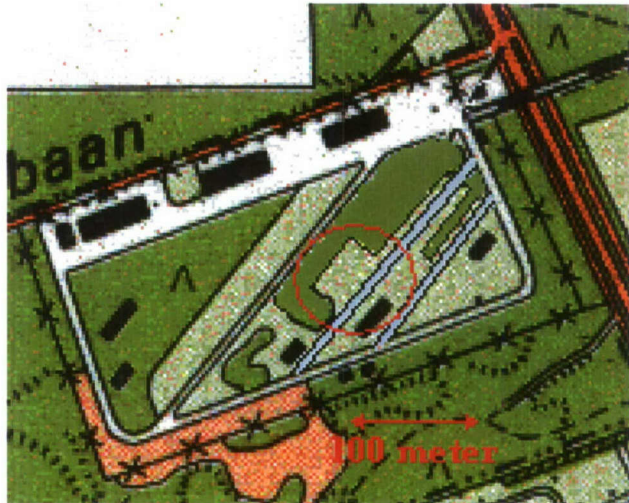
Locatie Park Vijf Eiken: A27 vanaf Utrecht richting Breda afslag Oosterhout-Zuid (afslag 17). Einde afslag linksaf Rijen, deze weg volgen tot over de spoorlijn Breda-Tilburg. Over het spoor na ongeveer 75 meter rechtsaf en vrijwel direct links ligt het toegangshek van het complex.

Kaart:



Figuur A.1 Het omcirkelde gebied met het hek er omheen is Park Vijf Eiken.

De kaart is niet meer actueel voor het terrein, er zijn meer wegen en bossen en er staan minder gebouwen. In onderstaande figuur is het terrein een stukje bijgewerkt.



Figuur A.2 Het geselecteerde meetgebied is aangegeven met de rode cirkel.

De apparatuur zal worden opgesteld in het zwart weergegeven gebouw. Het gebied waar de sensoren ware ingegraven is het grasveld voor en achter de weg aansluitend aan het gebouw.

Het gebouw waarin de apparatuur werd ondergebracht is een voormalig BOS (brandstof opslag) station. Het bestaat uit meerdere (acht of tien) compartimenten naast elkaar met elk een deur. De vloer bestaat uit verhoogde metalen roosters; het dak en de wanden bestaan uit metalen golfplaten.

Het gebouw heeft geen ramen, maar er is een klein gat in de wand gemaakt voor de webcam. Kabels kunnen door de open vloer naar buiten worden getrokken.

Er is geen stopcontact in de ruimten; stroomvoorziening is provisorisch afgetapt van de verlichting.

Voor het afsluiten van de ruimten zijn aparte hangsloten gebruikt.



Figuur A.3 Eén van de toegangen tot de meetruimte.



Figuur A.4 Geïmproviseerde elektriciteitsaansluiting.



Figuur A.5 Binnenkant van het gebouw.



Figuur A.6 Het meetgebied achter het gebouw.



Figuur A.7 EQS sensor met SOWNet node.



Figuur A.8 Het MB voertuig, rijdend door het sensorveld.

B Beschrijving communicatie tussen de SOWNet-nodes en de registratie-unit en toegepast algoritme

B.1 Communicatie protocol

Zodra een OGS geactiveerd wordt, zendt deze direct een melding naar de OGS-monitor en naar de SOWNet node. De informatie in deze melding bevat onder meer:

- ID-code van de OGS.
- Een packet-index (een teller voor het aantal gestuurde pakketjes).
- 9 bytes detectie-informatie.

Die negen bytes zijn in feite negen tellertjes die voor drie klassen (persoon, voertuig, pantser), en per klasse drie richtingen (LR, RL of onbekend) het aantal detecties weergeven sinds de laatste keer dat een bericht is verstuurd. Omdat een detectie direct verstuurd wordt, zal het verschil tussen individuele tellerstanden uiteraard maximaal 1 zijn. Incidenteel kunnen misschien ook andere waarden voorkomen. Naast deze detecties zullen de OGS'en periodiek een dummy melding naar de monitor doen om aan te geven dat ze nog steeds actief zijn. In die gevallen zijn de tellerstanden gelijk aan de vorige waarden.

De informatie die naar de SOWNet nodes wordt gestuurd is een directe kopie van het bovenstaande.

De tellerinformatie kan in de SOWNet node gecomprimeerd worden tot 1 byte.

Na een detectie wordt tussen twee SOWNet nodes het volgende bericht door middel van een Broadcast uitgewisseld:

- Bron SOWNet ID-code (1 byte).
- Een Belief-parameter (1 byte).
- Een geheugenindex (2 bytes).
- Lijst met Destination ID-codes, aangevuld met nullen; vaste omvang 10 bytes.

Alle nodes die dit bericht ontvangen, controleren of zij in de lijst met Destination-ID's voorkomen. Zo niet dan niets doen, zo wel: dan track starten.

Als een SOWNet-node eenmaal een alarmniveau bereikt, wordt het volgende bericht naar de registratie-unit gestuurd:

- Bron ID-code (1 byte).
- Destination ID-code (=adres van de registratie-unit) (1 byte).
- Alarm-code, nader te bepalen (1 byte).
- Tijdstip van alarm (1 byte).
- Geheugenindex (2 bytes).
- Gecomprimeerde teller info (1 byte).
- Een lijst met ID's en geheugenindices die hebben geleid tot de alarmering.

Hoe het protocol werkt om de registratie-unit te bereiken weet ik niet zeker. Wordt door een communicatiealgoritme van SOWNet b.v. gedaan.

Tevens worden door middel van een broadcast de burens geattendeerd die hebben bijgedragen aan het ontstaan van het alarm. Hiertoe wordt de volgende broadcast message uitgezonden naar een beperkte set burens:

- Bron ID-code (1 byte).
- Lijst met paarsgewijs: (Destination ID-code en geheugenindex). De lijst is gefixeerd op 20 bytes; niet gebruikt=0.
- Alarm-code, nader te bepalen (1 byte).

Die burens gaan dan op hun beurt hun informatie doorzenden naar de registratie-unit op dezelfde wijze als hierboven. Dit proces gaat door tot de eerste node die getriggered is zijn info doorgeeft naar de registratie-unit.

Telkens als een node een alarm via de sensor krijgt of via andere nodes getriggered wordt, wordt een lijstje bijgehouden in het geheugen van welke nodes een bericht is ontvangen. De index in het geheugen naar dit lijstje wordt dan telkens naar de volgende meegestuurd. Op deze manier is het mogelijk om de route 'terug te lopen' en een soort van trackinformatie op te bouwen, maar ook om de intern opgeslagen detectie-informatie te verkrijgen.

Positie van nodes, informatie over buurnodes en dergelijke en alle overige instellingen die voor het algoritme van belang zijn worden vooraf bepaald en met een programmeur vast in de nodes geprogrammeerd.

Samenvattend: Er is slechts sprake van 1-richtingsverkeer van nodes naar registratie-unit. Met behulp van een soort linked-list methode wordt track-informatie lokaal opgeslagen en pas na een daadwerkelijk alarm wordt de lijst teruggerold en de info aan de registratie-unit gegeven.

B.2 Toegepast algoritme

Er is gebruik gemaakt van het zogenaamde 'Belief-update' algoritme. De centrale gedachte achter het Belief-update algoritme is dat elke node een 'belief' ofwel verwachting heeft over de aanwezigheid van een object. Als de verwachting voldoende hoog is zal de node alarm slaan. Als een sensor een object detecteert (hetzij als een False Alarm, hetzij doordat een object daadwerkelijk passeert) zal de aangekoppelde node zijn eigen Belief-waarde verhogen. Daarnaast zal het zijn verhoogde Belief-waarde communiceren met zijn directe burens die op hun beurt hun Belief-waarde verhogen. De Belief-waarde van een node kan dus op 2 manieren verhoogd worden. Communicatie van de Belief-waarde is gekoppeld aan detectie door een sensor. Dat wil zeggen: een Belief waarde wordt alleen gecommuniceerd met buurnodes als de sensor van een node een detectie heeft gedaan. Achterliggende gedachte is dat het netwerk zich in een bepaalde Belief-toestand bevindt en slechts nieuwe feiten deze toestand mogen veranderen. Cirkelredeneringen en conclusies op grond van 'via-via informatie' ('explaining away') moeten uitgesloten worden. Is de Belief-waarde voldoende hoog, dan zal een node alarm slaan. Als binnen een bepaalde tijd (de eerder genoemde observatietijd ΔT) geen updates meer volgen wordt de Belief-waarde teruggezet naar zijn initiële waarde.

Tevens wordt bijgehouden met wie gecommuniceerd wordt. Heeft bijvoorbeeld node A een Belief-update gekregen van node B, dat zal node A na een eventuele opeenvolgende detectie geen Belief-update meer sturen naar node B. De richting van Belief-updates volgt daarmee de richting van passeren van het object. In feite is dit een ruwe vorm van aangeven dat het minder waarschijnlijk is dat eerste node B een detectie doet, vervolgens node A en daarna weer node B.

Het algoritme kan worden beschreven door de volgende programmatische stappen:

- 1 Indien de Belief-waarde eerder is verhoogd (ongeacht de reden): controleer de verstreken observatietijd. Indien verstreken: zet de Belief-waarde op de initiële waarde: $B=B_0$ en zet de observatietijd op nul.
- 2 Indien de sensor een object detecteert: verhoog de Belief-waarde volgens de volgende formule: $B=(1-B)*0.25+B$.
- 3 Indien een Belief-update wordt verkregen door een buurnode: verhoog de Belief-waarde volgens de volgende formule: $B=(1-B)*B_n+B$. Hierin is B_n de Belief-waarde die van de buurnode is verkregen.
- 4 Als de Belief-waarde een drempel L overschrijdt: alarm slaan. Uit efficiency overwegingen wordt dit gecommuniceerd met de directe burens zodat deze niet eveneens voor hetzelfde object alarm slaan.

Het algoritme is geïmplementeerd in SOWNet-nodes. Deze SOWNet-nodes zijn kleine microcontrollers in combinatie met een rf-communicatiesysteem.

In referentie [3] is de principewerking van een Bayesian Belief Network toegelicht.

C Uitwerking OGS experiment 16-26 november 2007

Het experiment met de SOWNet T-Node gekoppeld aan de ingegraven Onbemande Grond Sensoren (OGS-en) heeft 19 dagen geduurd. Deze meetperiode liep van 8 tot en met 26 november 2007. Na het uitwerken van de eerste resultaten van een proef waarbij een voertuig verschillende routes door het terrein heeft gereden, bleek dat het netwerk niet optimaal functioneerde. Daarom zijn op 16 november alle T-Nodes voorzien van een nieuw programma en zijn een tweetal OGS sensoren vervangen.

Dit document bevat de uitwerking van de resultaten van de meetperiode van 16 tot en met 26 november. Aan het begin van de periode is op 16 november een test gedaan door met een auto acht routes te rijden. Van 16 november 18:00 uur tot 26 november 10:00 uur heeft het systeem gewerkt zonder dat er activiteiten op de meetsite waren. Op 26 november zijn nog testen gedaan waarbij een bestelbus verschillende routes door het terrein heeft gereden. Deze drie onderdelen zullen afzonderlijk worden beschreven.

C.1 De meetopstelling

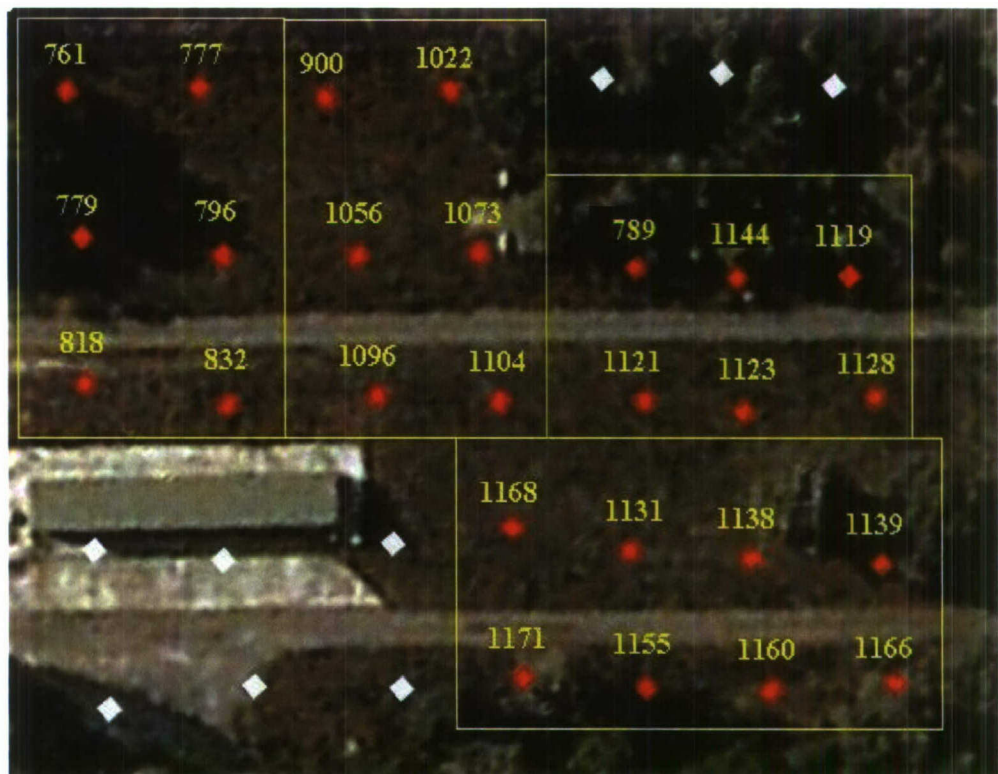
Op 16 november is de OGS en T-node opstelling veranderd.

Alle T-nodes zijn van een verbeterd programma voorzien en de OGS-en met ID nummers 1106 en 1110 zijn vervangen door de OGS-en 789 en 1144.

Een overzicht van de verbindingen tussen de OGS-en en de T-nodes is weergegeven in onderstaande tabel.

Nr	OGS nr	Tnode nr	Monitor pos
1	761	17	A1
2	777	34	A2
3	779	16	A3
4	796	33	A4
5	818	15	A5
6	832	32	A6
7	900	35	B1
8	1022	38	B2
9	1056	29	B3
10	1073	31	B4
11	1096	28	B5
12	1104	21	B6
13	789	37	C1
14	1144	13	C2
15	1119	14	C3
16	1121	22	C4
17	1123	25	C5
18	1128	27	C6
19	1131	23	D1
20	1138	24	D2
21	1139	26	D3
22	1155	10	D4
23	1160	11	D5
24	1166	12	D6
25	1168	20	D7
26	1171	36	D8

De sensoren zijn in een rechthoekig grid met een onderlinge afstand van ongeveer 15 meter over het terrein verdeeld. De OGS-en zijn alleen in grasvelden en stroken gras ingegraven, op enige afstand van bomen. Door het terrein liepen twee geasfalteerde wegen. In de onderstaande figuur is het terrein met de indeling van de OGS-en aangegeven. De gele nummers zijn de OGS ID's.



Figuur C.1 Sensornummering en lay-out.

C.2 Overzicht meteogegevens

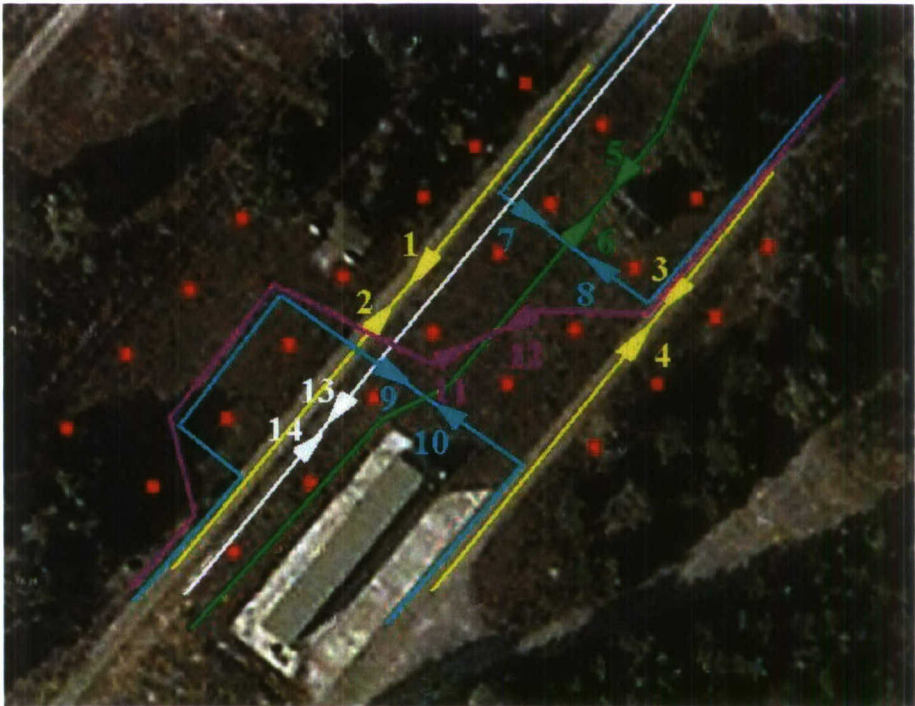
Tijdens de totale meetperiode zijn de meteogegevens van vliegveld Gilze-Rijen op een paar kilometer afstand van de meetlocatie geregistreerd.

In de onderstaande tabel zijn deze per dag weergegeven.

dagnr	datum	mintemp (°C)	maxtemp (°C)	neerslag (mm)	wind (km/h)	max windst (km/h)
1	08/11/07	6	11.5	12	15	54
2	09/11/07	3.5	8	7	24	65
3	10/11/07	4.5	11.5	4	20	65
4	11/11/07	7.5	12	7	22	61
5	12/11/07	1.5	10.5	1	14	43
6	13/11/07	2.5	7	6	14	39
7	14/11/07	1.5	6	0	13	43
8	15/11/07	-3.5	5	0	8	22
9	16/11/07	-3.5	6.5	0	8	18
10	17/11/07	0.5	8.5	0	9.5	22
11	18/11/07	-3.5	7	0	13	36
12	19/11/07	2.5	6.5	0.3	14.5	36
13	20/11/07	5	10.5	2	14	29
14	21/11/07	7	12	1	15.5	36
15	22/11/07	4.4	12.3	0.2	12.5	36
16	23/11/07	4.5	8	0.2	13.5	43
17	24/11/07	-4	8.2	0.3	11	39
18	25/11/07	5.5	8.3	6	17	58
19	26/11/07	0.7	7.5	0.8	12	58

C.3 **Uitwerking auto tests 16 november**

Na het veranderen van de meetopstelling en het controleren of alles naar behoren werkt is op 16 november met een auto een test gedaan. Hierbij zijn acht verschillende routes met de auto gereden, waarbij tussen iedere rit steeds een tijdje rust is gehouden. In de onderstaande figuur is een overzicht van routes door het terrein te zien en in de tabel staat welke routes zijn gereden.



Figuur C.2 Overzicht van de mogelijke routes.

Overzicht van de metingen.

Meting	Tijd	Route	Snelh	Opm
1	17:13	4	30	
2	17:15	1	30	
3	17:17	10	10	
4	17:19	4	10	
5	17:21	7	10	
6	17:23	1	60	
7	17:25	14	10	
8	17:27	12	10	

Overzicht van de geregistreerde OGS berichten van de metingen.

tijd	bericht nr	OGS ID	meting nr	delta L->R	delta R->L	delta ?->?	count L->R	count R->L	count ?->?
17:13:17	3547	1171	1	1	0	0	1	3	0
17:13:21	3548	1138	1	0	1	0	6	7	0
17:13:21	3549	1131	1	0	1	0	2	5	0
17:13:23	3550	1139	1	0	1	0	2	4	0
17:13:23	3551	1155	1	1	0	0	1	0	0
17:13:24	3552	1168	1	1	1	0	7	6	0
17:13:27	3553	1166	1	1	0	0	4	6	0
17:14:36	3554	1121	0	0	0	0	0	0	0
17:14:40	3555	1121	0	0	0	0	0	0	0
17:14:52	3556	1121	0	0	1	0	0	1	0
17:15:21	3557	1119	2	1	0	0	10	10	1
17:15:23	3558	1123	2	0	1	0	9	7	0
17:15:23	3559	789	2	1	0	0	6	9	0
17:15:25	3560	1104	2	0	0	0	2	6	0
17:15:26	3561	1073	2	0	0	0	1	0	0
17:15:28	3562	1121	2	0	1	0	0	2	0
17:15:28	3563	832	2	0	1	0	2	4	0
17:15:30	3564	779	2	1	0	0	1	2	0
17:15:40	3565	1073	2	0	1	0	1	1	0
17:15:41	3566	1056	2	2	0	0	2	0	0
17:15:49	3567	1123	2	0	1	0	9	8	0
17:17:49	3568	1168	3	1	0	0	8	6	0
17:17:51	3569	1104	3	1	0	0	3	6	0
17:17:55	3570	1073	3	1	0	0	2	1	0
17:17:58	3571	1056	3	0	1	0	2	1	0
17:18:01	3572	900	3	1	0	0	2	0	0
17:18:01	3573	777	3	1	0	0	3	1	0
17:18:05	3574	779	3	1	0	0	2	2	0
17:18:08	3575	796	3	1	1	0	1	1	0
17:18:19	3576	779	3	1	0	0	3	2	0
17:19:30	3577	1168	4	0	1	0	8	7	0
17:19:35	3578	1155	4	1	0	0	2	0	0
17:19:36	3579	1131	4	0	1	0	2	6	0
17:19:37	3580	1138	4	0	1	0	6	8	0
17:19:40	3581	1139	4	0	1	0	2	5	0
17:19:47	3582	1139	4	1	0	0	3	5	0
17:21:26	3583	1119	5	1	0	0	11	10	1
17:21:31	3584	1128	5	0	1	0	10	17	1
17:21:32	3585	1123	5	0	1	0	9	9	0
17:21:34	3586	1119	5	0	1	0	11	11	1
17:21:35	3587	1121	5	1	0	0	1	2	0
17:21:35	3588	1131	5	1	0	0	3	6	0

Overzicht van de geregistreerde OGS berichten van de metingen (vervolg).

tijd	bericht nr	OGS ID	meting nr	delta L->R	delta R->L	delta ?->?	count L->R	count R->L	count ?->?
17:21:38	3589	1138	5	0	1	0	6	9	0
17:21:40	3590	1139	5	0	1	0	3	6	0
17:23:17	3591	1119	6	1	0	0	12	11	1
17:23:17	3592	1123	6	0	1	0	9	10	0
17:23:17	3593	1144	6	1	0	1	4	4	1
17:23:18	3594	1121	6	0	1	0	1	3	0
17:23:18	3595	1104	6	0	1	0	3	7	0
17:23:19	3596	789	6	1	0	0	7	9	0
17:23:19	3597	1073	6	1	0	0	3	1	0
17:23:20	3598	1096	6	0	2	0	1	3	0
17:23:32	3599	1096	6	0	1	0	1	4	0
17:25:24	3600	818	7	1	0	0	1	0	0
17:25:29	3601	832	7	1	1	0	3	5	0
17:25:30	3602	1096	7	1	0	0	2	4	0
17:25:32	3603	1056	7	1	1	0	3	2	0
17:25:33	3604	1104	7	1	0	0	4	7	0
17:25:36	3605	1121	7	1	0	0	2	3	0
17:25:38	3606	789	7	0	1	0	7	10	0
17:25:42	3607	1144	7	0	1	0	4	5	1
17:25:44	3608	1119	7	0	1	0	12	12	1
17:25:48	3609	1128	7	1	1	0	11	18	1
17:26:07	3610	796	0	2	0	0	3	1	0
17:26:21	3611	796	0	1	0	0	4	1	0
17:27:26	3612	818	8	1	0	0	2	0	0
17:27:33	3613	1166	8	1	1	0	5	7	0
17:27:35	3614	1139	8	1	0	0	4	6	0
17:27:37	3615	1138	8	0	1	0	6	10	0
17:27:40	3616	1131	8	0	0	1	3	6	1
17:27:44	3617	1121	8	1	0	0	3	3	0
17:27:45	3618	1104	8	0	1	0	4	8	0
17:27:51	3619	1056	8	0	1	0	3	3	0
17:27:51	3620	1073	8	1	0	0	4	1	0
17:27:52	3621	1096	8	0	1	0	2	5	0
17:27:58	3622	796	8	0	1	0	4	2	0
17:27:59	3623	900	8	1	0	0	3	0	0
17:28:00	3624	779	8	2	0	0	5	2	0
17:28:03	3625	832	8	0	1	0	3	6	0

Opmerkingen bij deze tabel:

- De gele kolommen van de tabel zijn de ontvangen count-waarden voor een 'wheeled' voertuig.
- De kolommen met delta waarden zijn gemaakt uit het verschil tussen count-waarden van het huidige en vorige bericht van de zelfde OGS.
- Als er geen vorig bericht was dan zijn de deltawaarden 0 0 0.

- Indien ook de count-waarden 0 0 0 zijn, dan zijn het berichten van de OGS opstart procedure.
- Soms zijn de verschillen in de delta kolom groter dan 1, waarschijnlijk heeft de OGS monitor deze berichten verloren, maar mogelijk heeft de OGS per bericht de teller met meer dan 1 heeft verhoogd.
- Het registratieprogramma heeft alle berichten van de OGS monitor unit ontvangen omdat er geen berichtnummers missen.

Overzicht van de geregistreeerde T-node berichten van de metingen:

tijd	meting nr	source OGS	relia.	OGS- cause 1	OGS- cause 2	OGS- cause 3	OGS- cause 4
17:13:19	1	1171	255	1171	1168	1155	0
17:13:19	1	1138	255	1171	1168	1155	0
17:13:20	1	1160	255	1171	1168	1155	0
17:13:21	1	1104	255	1171	1168	0	0
17:13:22	1	1139	255	1138	1131	1160	0
17:13:22	1	1131	255	1138	1131	1160	0
17:15:23	2	1123	255	1121	1121	1123	0
17:15:26	2	1121	255	1121	1104	0	0
17:15:28	2	796	255	1056	832	0	0
17:15:40	2	1022	255	1056	1073	0	0
17:15:41	2	1104	255	1056	1073	0	0
17:17:54	3	1104	255	1168	1104	1073	0
17:17:58	3	900	255	1168	1104	1073	0
17:18:03	3	1096	255	900	796	0	0
17:18:05	3	796	255	900	796	779	0
17:19:34	4	1131	255	1168	1171	1155	0
17:19:35	4	1138	255	1168	1171	1155	0
17:19:37	4	1139	255	1131	1138	1160	0
17:19:38	4	1131	255	1131	1138	1160	0
17:19:38	4	1155	255	1131	1138	1160	0
17:21:32	5	1128	255	1119	1128	1123	0
17:21:32	5	1121	255	1119	1128	1123	0
17:21:32	5	1131	255	1119	1128	1123	0
17:21:35	5	1123	255	1121	1131	0	0
17:21:37	5	1155	255	1121	1131	1160	0
17:21:38	5	1139	255	1121	1131	1160	0
17:23:17	6	1128	255	1119	1128	1123	0
17:23:17	6	1121	255	1119	1128	1123	0
17:23:19	6	1073	255	1144	1121	1104	0
17:23:19	6	1131	255	1144	1121	1104	0
17:23:19	6	1168	255	1144	1121	1104	0
17:23:20	6	796	255	1096	1056	832	0
17:23:32	6	1104	255	1096	1056	0	0
17:23:33	6	1073	255	1096	1056	0	0
17:25:30	7	1056	255	818	832	1096	0
17:25:34	7	1168	255	818	832	1096	0
17:25:37	7	1073	255	1056	1104	0	0
17:25:42	7	1119	255	1121	1144	1128	0
17:25:42	7	1138	255	1121	1144	1128	0
17:26:38	0	832	255	796	796	818	0
17:26:38	0	796	255	796	796	818	0

Overzicht van de geregistreerde T-node berichten van de metingen (vervolg).

tijd	meting nr	source OGS	relia.	OGS- cause 1	OGS- cause 2	OGS- cause 3	OGS- cause 4
17:27:37	8	1139	255	1166	1139	1138	0
17:27:38	8	1121	255	1166	1139	1138	0
17:27:38	8	1155	255	1166	1139	1138	0
17:27:44	8	1104	255	1123	1121	0	0
17:27:44	8	1123	255	1123	1121	0	0
17:27:44	8	1138	255	1123	1121	0	0
17:27:51	8	1104	255	1104	1073	1096	0
17:27:52	8	796	255	1104	1073	1096	0
17:27:59	8	1022	255	1104	1073	0	0
17:28:00	8	796	255	796	900	0	0
17:28:03	8	1096	255	796	779	832	0
17:28:04	8	818	255	796	779	832	0
17:28:04	8	796	255	796	779	832	0
17:31:39	0	1056	255	1168	1104	1073	0

C.4 Uitwerking periode 16 tot en met 26 november.

Van 16 november 18:00 uur tot 26 november 10:00 uur heeft het systeem gewerkt zonder dat er activiteiten op de meetsite waren. Daarom is deze periode geselecteerd om de valse alarmen te bekijken. Het bleek echter dat het aantal berichten erg hoog was. In 231 uur zijn er namelijk 6956 OGS detecties geregistreerd. Het aantal Tnode berichten dat daaruit is ontstaan is 3026.

In de onderstaande tabel is een overzicht van de berichten opgenomen.

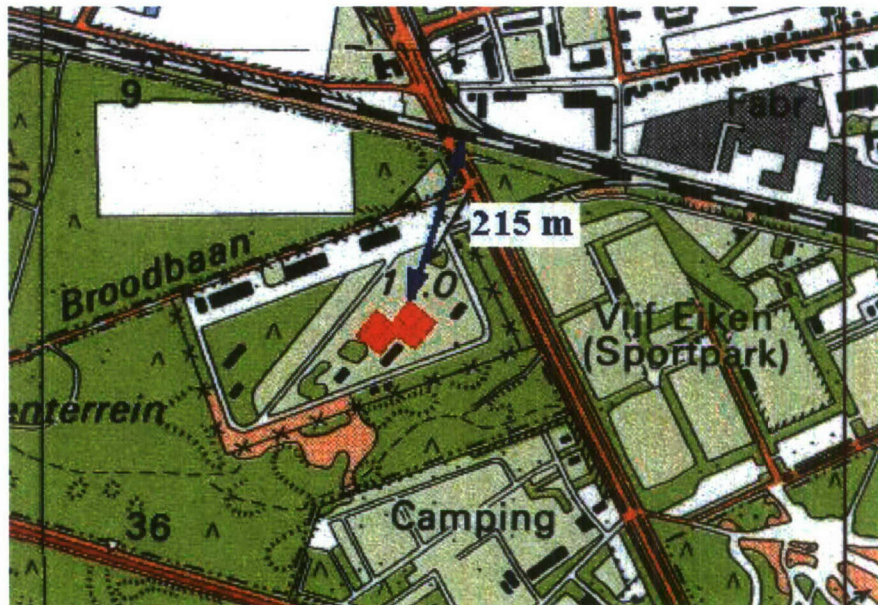
OGS nr	Tnode nr	OGS-Meldingen	Tnode-Meldingen
761	17	103	8
777	34	148	0
779	16	95	15
789	37	357	0
796	33	109	94
818	15	3	15
832	32	101	42
900	35	226	57
1022	38	342	49
1056	29	198	116
1073	31	230	122
1096	28	165	93
1104	21	218	120
1119	14	641	107
1121	22	276	251
1123	25	432	317
1128	27	546	241
1131	23	234	199
1138	24	438	293
1139	26	524	181
1144	13	469	153
1155	10	224	116
1160	11	247	157
1166	12	352	92
1168	20	166	128
1171	36	112	60
		6956	3026

Opmerkingen:

- Uit de statusberichten die ieder uur door de T-nodes werden gegenereerd bleek dat T-node 37 niet heeft gewerkt.
- T-node nummer 34 heeft vanaf 19 november geen regelmatige statusmeldingen meer gegeven maar wel af en toe.
- Er wordt verondersteld dat de seismische sensor van OGS nummer 818 niet goed heeft gewerkt maar de magnetische sensor wel.

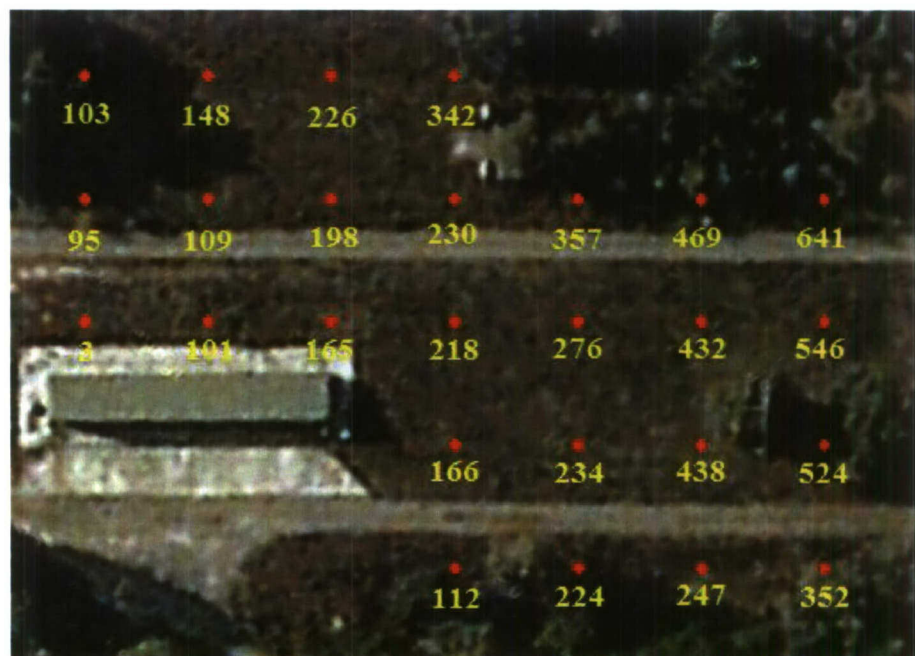
De oorzaak van de vele alarmen is het naastgelegen spoor waar overdag meerdere treinen per dag langs kwamen. Er is namelijk een correlatie tussen de alarmen en de periode waarin treinen reden.

In onderstaande figuur is de ligging van het terrein ten opzichte van het spoor weergegeven.



Figuur C.3 Ligging van het terrein ten opzichte van het spoor weergegeven.

Indien we de OGS alarmen per OGS op een detailkaart aangeven zien we dat de afstand tot het spoor bepalend is voor het aantal alarmen. Dit is in de onderstaande figuur weergegeven.



Figuur C.4 Sensornummering en lay-out.

In de figuur stelt iedere rode punt een OGS weer en het gele getal het aantal alarmen van deze OGS in de periode van 231 uur. Het is duidelijk te zien dat het aantal alarmen van rechtsboven afneemt tot linksonder.

Voor het correleren van de alarmen aan het treinverkeer is een dienstregeling uit 2007 noodzakelijk.

C.5 Meetdata

OGS data

Alle OGS berichten van 16 november 18:00 uur tot 26 november 10:00 zijn in de excel sheet 'OGSdata-16-25nov-tot-sorted.xls' opgenomen.

Het formaat zie er als volgt uit:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
16/11/2007	18:02:09	3661	1104	0	1	0	4	10	0
16/11/2007	18:02:10	3662	1123	1	0	0	13	10	0
16/11/2007	18:02:11	3663	1128	0	1	0	12	20	1
16/11/2007	18:02:12	3664	1144	0	1	0	4	7	1
16/11/2007	18:03:07	3665	1166	1	0	0	7	7	0
16/11/2007	18:04:16	3666	1166	1	0	0	8	7	0

Toelichting op de tabel:

- De kolommen A en B geven de datum en tijd van de registratie aan.
- Kolom C is de berichten teller, deze loopt door vanaf 3661 tot en met 9637 en komt van de OGS monitor unit. Uit het feit dat er geen nummer mist blijkt dat alle berichten van de monitor unit door de computer in de excel tabel zijn opgeslagen.
- Hoewel de som van de OGS counters totaal 6956 alarmen weergaven, zijn er 5977 berichten door de OGS monitor unit ontvangen. Er zijn dus bijna 1000 berichten niet ontvangen, waarschijnlijk doordat tegelijkertijd uitgezonden berichten niet konden worden ontvangen.
- Kolom D geeft het ID nummer van de OGS.
- De gele kolommen H, I en J van de tabel zijn de ontvangen count-waarden voor een 'wheeled' voertuig.
- De kolommen E, F en G met delta waarden zijn gemaakt uit het verschil tussen count-waarden van het huidige en vorige bericht van de zelfde OGS.
- E en H geven de richting van links naar rechts aan, F en I de richting van rechts naar links en G en J geven een onbepaalde richting aan.
- Als er geen vorig bericht was dan zijn de deltawaarden 0 0 0.
- Indien ook de count-waarden 0 0 0 zijn, dan zijn het berichten van de OGS opstart procedure.
- Soms zijn de verschillen in de delta kolom groter dan 1, waarschijnlijk heeft de OGS monitor deze berichten verloren, maar mogelijk heeft de OGS per bericht de teller met meer dan 1 heeft verhoogd.

T-node data

Alle Sownet alarmberichten van 16 november 18:00 uur tot 26 november 10:00 zijn in de excel sheet 'NODEdata-16-25nov-alarm.xls' opgenomen.

Het formaat zie er als volgt uit:

A	B	C	D	E	F	G	H	I
16/11/2007	18:02:11	1	1139	255	1123	1128	0	0
16/11/2007	18:02:12	2	1138	255	1123	1128	0	0
16/11/2007	18:02:12	3	1123	255	1123	1128	1144	0
16/11/2007	18:14:34	4	1073	255	1022	900	0	0
16/11/2007	18:14:37	5	1123	255	1121	1138	0	0
16/11/2007	18:14:38	6	1139	255	1121	1138	0	0
16/11/2007	18:14:38	7	1131	255	1121	1138	0	0
16/11/2007	18:14:42	8	796	255	1022	900	0	0
16/11/2007	18:18:09	9	1128	255	1128	1139	0	0
16/11/2007	18:18:11	10	1160	255	1128	1139	1166	0
16/11/2007	18:31:57	11	1131	255	1171	1168	0	0

Toelichting op de tabel:

- De kolommen A en B geven de datum en tijd van de registratie aan.
- Kolom C is de berichten teller die zelf in de sheet is opgenomen om eenvoudiger te sorteren.
- Kolom D is de ID van de OGS die is gekoppeld aan de node die het alarm heeft gemaakt en verstuurd.
- Kolom E is een mate van de betrouwbaarheid van detectie, maar deze is altijd 255.
- De kolommen F tot en met I geven aan welke OGS-en hebben geleid tot het alarmbericht.

Dienstregeling treinen

Voor een correlatie van de alarmen met langskomende treinen is de dienstregeling voor die periode nodig.

Overdag rijden er beide kanten op zes treinen per uur. In de nacht is er geen personen treinverkeer over dit spoor. De regelmatige passage van goederentreinen op dit spoor is niet aan een dienstregeling te koppelen.

In de onderstaande tabellen is dienstregeling samengevat voor de geschatte passagetijd van de trein. Deze is bepaald op 5 minuten vanaf Breda voor zowel de sneltreinen als de stoptreinen.

Treinen van Breda naar Tilburg (van links naar rechts)

Op werkdagen

:00	:15	:26	:30	:45	:56
00:00			00:30		
				05:45	
06:00	06:15	06:26	06:30	06:45	06:56
..
23:00	23:15	23:36	23:30	23:45	23:56

stop

stop

Op zaterdag (10, 17 en 24 november)

:00	:15	:26	:30	:45	:56
00:00			00:30		
				06:45	06:56
07:00	07:15	07:26	07:30	07:45	07:56
..
23:00	23:15	23:36	23:30	23:45	23:56

stop

stop

Op zondagen (11, 18 en 25 november)

:00	:15	:26	:30	:45	:56
00:00			00:30		
	07:15			07:45	
08:00	08:15	08:26	08:30	08:45	08:56
..
23:00	23:15	23:36	23:30	23:45	23:56

stop

stop

Treinen van Tilburg naar Breda (van rechts naar links)

Op werkdagen

:00	:03	:15	:30	:33	:45
00:00	00:03	00:15	00:30		00:45
06:00	06:03		06:30	06:33	06:45
07:00	07:03	07:15	07:30	07:33	07:45
..
23:00	23:03	23:15	23:30	23:33	23:45
stop			stop		

Op zaterdagen (10, 17 en 24 november)

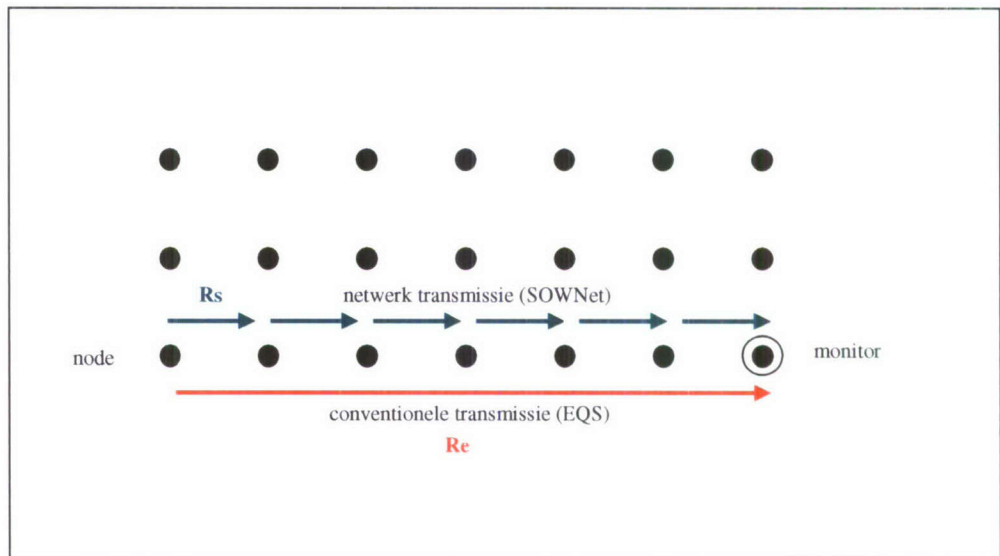
:00	:03	:15	:30	:33	:45
00:00	00:03	00:15	00:30		00:45
			07:30	07:33	07:45
08:00	08:03	08:15	08:30	08:33	08:45
..
23:00	23:03	23:15	23:30	23:33	23:45
stop			stop		

Op zondagen (11, 18 en 25 november)

:00	:03	:15	:30	:33	:45
00:00	00:03	00:15	00:30		00:45
	08:03	08:15	08:30	08:33	08:45
09:00	09:03	09:15	09:30	09:33	09:45
..
23:00	23:03	23:15	23:30	23:33	23:45
stop			stop		

D Vergelijking van energieverbruik

Om een indruk te krijgen van de door het netwerk verbruikte energie in vergelijking met de verbruikte energie die door eenzelfde aantal sensoren die op de conventionele wijze zouden zijn toegepast (dus niet in een netwerk), is de volgende simpele methode gebruikt. Hierbij wordt uitgegaan van een configuratie zoals in onderstaande figuur is getekend.



Stel:

R_s = maximaal zendbereik van een SOWNet-node

R_e = maximaal zendbereik EQS-sensor

Op de maximale afstand R_s van SOWNet-zender is de vermogensflux F_s ;

$$F_s = (G_s \cdot P_s) / (4\pi R_s^2) \quad (1)$$

Op de maximale afstand van de EQS-sensor is de vermogensflux F_e ;

$$F_e = (G_e \cdot P_e) / (4\pi R_e^2) \quad (2)$$

Dit geldt eigenlijk alleen in de vrije ruimte; in werkelijkheid spelen de verschillen in geometrie zender-ontvanger, zendfrequentie en de bodemsoort ook een rol

Verder nemen we aan dat $G_s = G_e$ (G is de antenne-gain-factor)

$$\text{We gaan er van uit dat } F_s(R_s) = F_e(R_e) \quad (3)$$

$$\text{Dus, uit (1), (2) en (3) volgt: } P_e/P_s = R_e^2 / R_s^2 \quad (4)$$

Nu moet het sensorveld gedefinieerd worden. Stel we hebben een rechthoekig gebied ter grootte van $L \times B$ meter, uniform voorzien van sensoren.

De SOWNet-sensoren hebben een onderlinge afstand van maximaal R_s ; voor het gemak nemen we aan dat de onderlinge afstand ook R_s is.

Dan geldt voor het totaal aantal sensoren:

$$N = (L / R_s + 1) * (B / R_s + 1) \quad (5)$$

(Vb: bij $L = 60$ meter, $B = 20$ meter en $R_s = 10$ meter, dan volgt $N = (6 + 1) * (2 + 1) = 21$ stuks nodig)

We berekenen het totale energieverbruik van de SOWNet-nodes bij één passage van een doel als volgt. Het doel beweegt midden door het sensorveld (van boven naar beneden) en we nemen aan dat de helft van de SOW-zenders elk 4 berichten uitzendt (i.v.m. raadplegen en verwittigen nabij gelegen burens en voor communicatie van de boodschap naar het eindpunt). Verder stellen we de berichtlengte T_s .

De totaal verbruikte energie E_s (bij één passage) zal dan zijn:

$$E_s = \frac{1}{2} N * 4 * P_s * T_s \text{ Joule}$$

en m.b.v. (4):

$$E_s = 2 * (L / R_s + 1) * (B / R_s + 1) * T_s * P_s \quad (6)$$

Nu is het probleem met welk EQS sensorveld het best vergeleken kan worden.

Stel we nemen een zelfde EQS sensorveld. In het getekende voorbeeld detecteren dan $2 * (B / R_s + 1)$ sensoren het doel en zenden elk hun boodschap (in het getekende voorbeeld dus 6 stuks (2 kolommen)).

De totaal verbruikte energie E_e is dan:

$$E_e = 2 * (B / R_s + 1) * T_e * P_e \quad (7)$$

Stellen we $T_e = T_s$, dan volgt voor de verhouding E_e/E_s :

$$E_e/E_s = P_e / \{(L / R_s + 1) * P_s\} \quad (8)$$

en nu m.b.v. (4):

$$E_e/E_s = R_e^2 / \{(L / R_s + 1) * R_s^2\} \quad (9)$$

Voor het terrein in Vijf Eiken zou bij benadering gesteld kunnen worden:

$R_e \approx L \approx 90$ meter en $R_s = 15$ meter: Dan is $E_e/E_s \approx 5$

ONGERUBRICEERD

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2008-0098	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV 2008 A243
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 015.35058	5. CONTRACT NO 698.06.0003.01	6. REPORT DATE July 2008
7. NUMBER OF PAGES 42 (incl 4 appendices, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 3	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE The SOWNet Experiment (Het SOWNet Experiment)		
11. AUTHOR(S) ing. M.G.A. Ruizenaar ing. R.B. Boekema ir. H.A.J.M. van Hoof ing. G.P. van Voorthuijsen		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 96864, 2509 JG The Hague, The Netherlands Oude Waalsdorperweg 63, The Hague, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Ministry of Defence		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) The Self Organising Wireless Network (SOWNet), developed by TNO, was used in a field experiment to ascertain the possible performance benefits when applied to unattended ground sensors (UGS). Detection probability, false alarm rate (FAR), and battery life-time were compared for both the conventional communications method (i.e. one-way communication) and a networked communications approach. The conclusion as a result of this experiment is that networking the UGS led to a considerable reduction in false alarms and energy consumption.		
16. DESCRIPTORS Performance of Unattended Ground Sensors (UGS), Ground Sensor Networks, Networked Ground Sensors.		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- | | |
|-------|---|
| 1 | DMO/SC-DR&D
standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom |
| 2/3 | DMO/DR&D/Kennistransfer |
| 4 | Projectbegeleider Defensie
J.A.M. Vernooij, DMO/DWS&B |
| 5/12 | DMO/DWS&B
B.J. van der Ark |
| 13 | DMO/DWS&B
T.P. Tamaela |
| 14/16 | Bibliotheek KMA |
| 17/18 | TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Archief |
| 19/24 | TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Business Unit Waarnemingssystemen,
ing. G.P. van Voorthuijsen
ing. M.G.A. Ruizenaar
ing. R.B. Boekema
ir. H.A.J.M. van Hoof
ing. H.A. Koobs de Hertog
ir. S. Cadot |

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur,
ir. P.A.O.G. Korting
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Waarnemingssystemen (operaties), ir. B. Dunnebie PDeng
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Informatie en Operaties (operaties), ir. P. Schulein
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, daarna reserve
Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Manager Human Factors (operaties), drs. H.J. Vink